

## System for detecting forces exerted onto a tire

**Publication number:** DE10044288

**Publication date:** 2001-07-19

**Inventor:** FEY WOLFGANG (DE); HEINZ MICHA (DE); CHEN LING (DE)

**Applicant:** CONTINENTAL TEVES AG & CO OHG (DE)

**Classification:**

**- international:** B60C13/00; B60T8/172; G01B7/16; G01D3/02; G01D5/244; B60C13/00; B60T8/17; G01B7/16; G01D3/02; G01D5/12; (IPC1-7): G01L5/20; B60T8/32

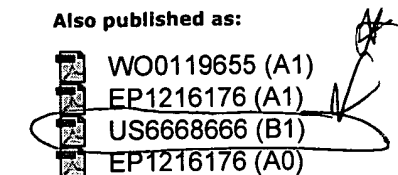
**- european:** B60C13/00; B60T8/172C; G01B7/16; G01D3/02; G01D5/244D

**Application number:** DE20001044288 20000907

**Priority number(s):** DE20001044288 20000907; DE19991044094 19990915; DE20001001543 20000114

**Also published as:**

WO0119655 (A1)  
EP1216176 (A1)  
US6668666 (B1)  
EP1216176 (A0)

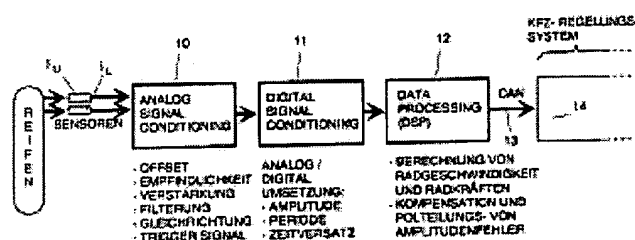


**Report a data error here**

Abstract not available for DE10044288

Abstract of corresponding document: **US6668666**

A device with at least two sensors, especially tire sidewall torsion (SWT) sensors for a motor vehicle control system, wherein the sensors are mounted at varying distances from the tire rotational axis on the chassis or wheel suspension in a stationary manner and wherein the sensors interact with at least one encoder mounted on or in the tire wall or with at least one conventional encoder mounted on or in the tire wall and exhibiting poles. The output signals or output information of the sensors are transmitted to the motor vehicle control system after having been evaluated. In order to provide preprocessed or conditioned data records to the signal processing (DSP=digital signal processor), so that the signal processing software needs to carry out fewer calculating operations to correct the errors in the raw data and determine the tire or wheel forces on the basis of the conditioned data, at least one analog and one digital signal conditioning or processing unit is provided between the motor vehicle control system and the sensors.



Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide



19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

12 **Offenlegungsschrift**  
10 **DE 100 44 288 A 1**

51 Int. Cl. 7:  
**G 01 L 5/20**  
B 60 T 8/32

21 Aktenzeichen: 100 44 288.9  
22 Anmeldetag: 7. 9. 2000  
43 Offenlegungstag: 19. 7. 2001

DE 100 44 288 A 1

66 Innere Priorität:

199 44 094. 8      15. 09. 1999  
100 01 543. 3      14. 01. 2000

71 Anmelder:

Continental Teves AG & Co. oHG, 60488 Frankfurt,  
DE

72 Erfinder:

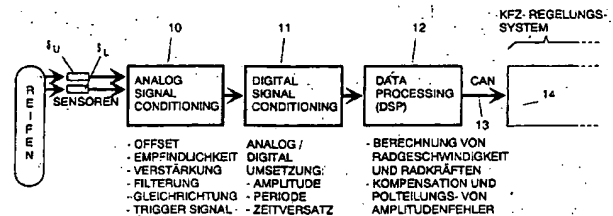
Fey, Wolfgang, 65527 Niedernhausen, DE; Heinz,  
Micha, 64293 Darmstadt, DE; Chen, Ling, 64289  
Darmstadt, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Rechercheantrag gem. Paragraph 43 Abs. 1 Satz PatG ist gestellt

54 Vorrichtung mit mindestens zwei Sensoren, insbesondere Reifen-Seitenwandtorsions(SWT)-Sensoren

57 Vorrichtung mit mindestens zwei Sensoren, insbesondere Reifen-Seitenwandtorsions(SWT)-Sensoren, für ein Kfz-Regelungssystem, die in unterschiedlichem Abstand zur Reifenrotationsachse stationär an der Radaufhängung angebracht und die mit mindestens einem auf oder in der Reifenwandung angebrachten oder mit mindestens einem auf oder in der Reifenwandung angebrachten und einem herkömmlichen, Pole aufweisenden Encoder zusammenwirken und die Ausgangssignale oder Ausgangsinformationen der Sensoren nach einer Auswertung dem Kfz-Regelungssystem zugeführt werden. Um der Signalverarbeitung (DSP) = Digitaler Signalprozessor bereits vorverarbeitete bzw. aufbereitete Datensätze bereitzustellen, damit die Signalverarbeitungs Software die Fehlerkorrektur der Rohdaten und die Ermittlung der Reifen- bzw. Radkräfte aus den aufbereiteten Signaldaten mit verringertem Rechenaufwand erfolgen kann, ist zwischen dem Kfz-Regelungssystem und den Sensoren mindestens eine analoge und eine digitale Signalaufbereitung und/oder -verarbeitung vorgesehen (Fig. 1).



DE 100 44 288 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung mit mindestens zwei Sensoren, insbesondere Reifen-Seitenwandtorsions (SWT)-Sensoren, für ein Kfz-Regelungssystem, die in unterschiedlichem Abstand zur Reifenrotationsachse stationär am Chassis bzw. der Radaufhängung angebracht und die mit mindestens einem auf oder in der Reifenwandung angebrachten oder mit mindestens einem auf oder in der Reifenwandung angebrachten und einem herkömmlichen, Pole aufweisenden Encoder zusammenwirken, wobei die Ausgangssignale oder Ausgangsinformationen der Sensoren nach einer Auswertung dem Kfz-Regelungssystem zugeführt werden.

Es ist eine Vielzahl von Verfahren zur Regelung des Fahrverhaltens eines Fahrzeugs bekannt, die Reifensensoren zur Erfassung der an den Reifen angreifenden Kräfte und Momente verwenden. Reifensensoren (SWT-Sensor) bestehen aus einem im oder am Reifen angebrachten Encoder und mindestens einem dem Encoder zugeordneten, stationär an der Radaufhängung angeordneten Sensor (Meßwertaufnehmer). Während in der EP 04 441 09 B1 die Deformation des Reifenprofilbereichs des Reifens – der Reifenlatsch – überwacht wird, wird in der WO 96/10505 die Deformation der Seitenwand – die Torsionsdeformationen – eines Reifens über eine Zeitspannenmessung zwischen dem Passieren mindestens zweier auf unterschiedlichem Radius zur Rotationsachse angeordneter Marken am rotierenden Rad erfaßt. Ein Reifensensor, der bei einer Verformung des Reifens infolge der an dem Reifen angreifenden Kräfte eine Änderung der Phasenlage und/oder der Amplitude zwischen von Meßwertaufnehmern abgegebenen Ausgangssignalen erfaßt, ist in der WO 97/44673 beschrieben.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde eine Vorrichtung zu schaffen, die es ermöglicht, der Signalverarbeitung bereits vorverarbeitete bzw. aufbereitete Datensätze bereitzustellen, damit die Signalverarbeitungs Software die Fehlerkorrektur der Rohdaten und die Ermittlung der Reifen- bzw. Radkräfte aus den aufbereiteten Signaldaten mit verringertem Rechenaufwand ausführen kann. Die Signalverarbeitung kann dem Kfz.-Regelungssystem vorgeschaltet oder Bestandteil des Kfz.-Regelungssystems sein.

Diese Aufgabe wird bei einer gattungsgemäßen Vorrichtung dadurch gelöst, daß zwischen dem Kfz-Regelungssystem und den Sensoren mindestens eine analoge und eine digitale Signalaufbereitung und/oder -verarbeitung vorgesehen ist.

Nach einem vorteilhaften Ausführungsbeispiel stellen die Sensoren mindestens zwei, bzgl. einer Änderung der Phasenlage und mindestens ein, bzgl. der Änderung der Amplitude bewertbare Ausgangssignale als im wesentlichen sinusförmige Wechselstromsignale der analogen Signalaufbereitung und/oder -verarbeitung zur Verfügung.

Zum Ermitteln der Amplitude ist der analogen Signalaufbereitung und/oder -verarbeitung mindestens ein Analog-Digitalwandler zugeordnet.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung weist darüber hinaus vorteilhaft folgende Baugruppen auf:

eine analoge Signalaufbereitung mit einem Wandler, der das sinusförmige Wechselstromsignal in eine Spannung überführt,

einen Filter, der Signalstörungen unterdrückt eine Offsetkompensationseinheit, die die Signalaufbereitung und/oder -verarbeitung an Veränderungen des Signalloffsets des Sensors anpaßt,

eine Triggerschaltung, die das sinusförmige (Analog)Signal in ein Rechtecksignal wandelt und

eine Amplitudenermittlung, die den Spitzenwert jeder Halb-

welle erfaßt. Die Amplitudenermittlung ist vorteilhaft gekennzeichnet durch

einen Trennverstärker, der die positive und negative Halbwelle getrennt verstärkt

5 einen Invertierer, der die negative Halbwelle umkehrt einen von dem am Ausgang der Triggerschaltung anstehenden Signal getriggerten Schalter, der phasenrichtig die positive oder negative Halbwelle auf den Eingang eines Amplitudenwertdetektors schaltet

10 ein Register, das den Wert der Amplitude festhält und einer von der digitalen Signalaufbereitung und/oder -verarbeitung kontrollierten Schaltung zum Löschen des Registers.

Nach einer erfindungsgemäßen Weiterbildung der Vorrichtung weist die digitale Signalaufbereitung mindestens eine Logik mit mindestens zwei Periodenzählern auf, wobei jeweils bei Nulldurchgängen mit positiver oder negativer Flanke der Signale des näher zur Rotationsachse angeordneten ersten Sensors Ablaufsteuerungen die Zähler starten oder stoppen und bei Nulldurchgängen der Signale des weiter von der Rotationsachse entfernten zweiten Sensors der zu diesem Zeitpunkt aktuelle Zählerstand als eine Zeitmarke in Registern gespeichert wird.

Den Zählern ist vorteilhaft mindestens ein Register zugeordnet wobei in dem Register der Stand des Periodenzählers bei jedem Nulldurchgang abgelegt wird und dieser dann erneut gestartet wird.

Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung reduziert die Datenmenge mehrerer miteinander verknüpfter analoger Eingangssignale in einer vorteilhaften Weise so, daß eine Weiterverarbeitung der gewonnenen Informationen mit geringerem Aufwand in einer digitalen Signalverarbeitung gewährleistet ist.

In der erfindungsgemäßen SWT Sensor Signalaufbereitungs- und verarbeitungselektronik werden aus den Veränderungen der Amplitude, der Periodendauer und des Phasenbezuges der Eingangssignale Informationen gewonnen, die eine Berechnung der auf die Reifen wirkenden Quer- und Längskräfte möglich machen.

Die Vorrichtung enthält darüber hinaus Mittel um unerwünschte Störungen entweder fernzuhalten oder aber zu erkennen und dann während der nachfolgenden Datenverarbeitung rechnerisch auszugleichen.

Hierdurch ist es möglich, nur eine Signalverarbeitungseinheit, insbesondere nur einen DSP (Digitalen Signalprozessor), zur Verarbeitung der Datensätze aller Räder eines Fahrzeugs zu verwenden

50 Die erfindungsgemäße Vorrichtung stellt vorteilhaft eine funktionsfähige Echtzeit-Signalverarbeitung für ein SWT Sensor System dar.

Sie reduziert die Fülle an Eingangsdaten sinnvoll und automatisiert, damit die nachfolgende Datenverarbeitung entlastet wird und sich damit geringere Anforderungen an den Prozessor (niedrige Software-Laufzeiten, niedrige Taktfrequenz, geringere Kosten) ergeben.

Sie macht außerdem eine deterministische Weiterbearbeitung der generierten Daten möglich.

60 Eine Erweiterung und Verbesserung der Auswerteschaltung wird dann möglich, wenn die magnetische Codierung des Reifens nicht streng gleichförmig ist, sondern in gewissen Bereichen eine unterschiedliche Periodendauer aufweist.

65 Diese Abweichungen von der "normalen" Periodendauer (oder vom 50 : 50 Tastverhältnis) müßten so groß sein, daß sie eindeutig als Zusatzcodierung und nicht als Verformung erkannt werden können.

Hierdurch würde das Verfahren der Abspeicherung des Polmusters sicherer gemacht, da die korrekte Lage des Reifens durch das charakteristische Polmuster eindeutig erkannt werden kann. Aufwendige Software-Verfahren zur Muster-Rückerkennung könnten entfallen.

Außerdem ließen sich Informationen über den Typ des Reifens codieren (z. B. Sommer- oder Winterreifen), die als Zusatzinformation für die Regelsoftware zu besser angepaßten Regelalgorithmen führen könnten.

Die Verwendung eines DSPs zur Datenverarbeitung ist nur ein vorteilhaftes Ausführungsbeispiel. Ein Mikroprozessor kann ebenso verwendet werden.

Sie in den Figuren und in der Beschreibung verwendeten Datenwortbreiten und Taktfrequenzen zeigen eine Möglichkeit der Realisierung. Zukünftige Untersuchungen müssen zeigen, ob eine Reduktion dieser Anforderungen unter Beibehaltung ausreichender Genauigkeit möglich ist.

Bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung handelt es sich um ein elektronisches System, das die Ausgangssignale von SWT (Seitenwandtorsions)-Sensoren zur Bestimmung der Quer- und/oder Längskräfte in einer geeigneten Weise ausgewertet und vorverarbeitet, so daß die daraus gewonnenen Daten zur Weiterverarbeitung in einem System zur Regelung des Fahrverhaltens, insbesondere der Fahrstabilitätsregelung, eingesetzt werden können.

Die verwendeten Sensoren detektieren Abstandsänderung und Längsverformung von KFZ-Reifen bzw. Rädern. Es handelt sich um Sensoren mit magnetoresistiver Brücke, denen ein Verstärker mit Stromausgang bereits im Sensorkopf nachgeschaltet ist. Das Ausgangssignal dieser Sensoren ist ein Wechselstrom mit annähernd sinusförmigem Verlauf, dessen Amplitude sich mit dem Reifenabstand und dessen Frequenz sich mit der Raddrehzahl ändert. Dem Wechselstrom ist ein Gleichstromanteil überlagert, so daß der resultierende Gesamtstrom nur ein positives Vorzeichen (in den Sensor hinein) haben kann.

Pro Rad sind zwei solcher Sensoren angebracht; die Änderung der zeitlichen Differenz der Nulldurchgänge der beiden Sensorsignale ist hierbei ein Maß für die Längsverformung der Reifen.

Die den SWT-Sensoren zugeordneten Encoder sind in oder an den Reifenseitenwänden der Räder angeordnet, in die vorzugsweise ein magnetisierbares Pulver eingebracht ist. Die Magnetisierung der Reifenseitenwände besteht aus 48 strahlenförmig angeordneten Polpaaren N, S, die gleichmäßig über den Umfang verteilt sind und deren gedachter Ursprung sich in der Reifen bzw. Radrotationsachse befindet.

Es besteht auch die Möglichkeit, anstelle des zweiten SWT-Sensors das Ausgangssignal eines herkömmlichen Raddrehzahlsensors auszuwerten. Dieser Sensor liefert zwar keine Information über Abstandsänderungen, aber durch Ausmessen der Nulldurchgänge läßt sich nach wie vor die Längsverformung des Reifens bestimmen.

Um diesen Sensor erfindungsgemäß nutzen zu können, muß sein Polrad die gleiche Anzahl an Polen wie die der SWT Encoder aufweisen.

#### 1. Funktionsgruppen der SWT-Sensor-Elektronik

Die in Fig. 1 dargestellte Schaltung weist die folgenden Funktionsgruppen auf:

- Analoge Signalaufbereitung 10
- Digitale Signalaufbereitung 11
- Digitale Signal- bzw. Datenverarbeitung 12 (DSP = Digitaler Signalprozessor)
- CAN Schnittstelle 13 zur Anbindung an das Kfz-Regelungs-

#### gelungssystem 14

In der analogen Signalaufbereitung (ANALOG SIGNAL CONDITIONING) 10 werden die sinusförmigen Ausgangssignale der SWT-Sensoren  $S_L$ ,  $S_U$  in eine Spannung überführt und in ein Rechtecksignal gewandelt, gefiltert, an Veränderungen des Signalfrequenz der Sensoren anpaßt und der Spitzenwert jeder Halbwelle erfasst.

In der digitalen Signalaufbereitung 11 erfolgt eine Umsetzung der analogen Signale in digitale Signale bzgl. der Amplitude, der Periode und des Zeitversatzes.

In der digitalen Signal- bzw. Datenverarbeitung 12 erfolgt die Ermittlung der Radgeschwindigkeit und der Radkräfte. Darüber hinaus werden Polteilungs- und Amplitudenfehler kompensiert.

Fig. 3 zeigt die Partitionierung der SWT-Sensor Schaltung. Es wird der komplette Funktionsumfang der Schaltung in einem vorteilhaften Ausführungsbeispiel gezeigt. Für jeden der acht SWT-Sensoren wird ein eigener analoger Signalaufbereitungskanal benötigt. Zusätzlich sind auch die vier herkömmlichen Radsensoren angeschlossen, um die SWT-Sensoren auch in der Konfiguration  $4 \times$  SWT-Sensoren und  $4 \times$  Radsensor (anstelle von 8 SWT-Sensoren) betreiben zu können.

Pro Analogkarte ist ein Analog-Digital-Wandler 15, 16 vorhanden, der von der Hauptlogik 18 (Haupt-FPGA = programmierbarer Logikbaustein) auf der FPGA-Karte ausgelesen wird.

Die Aufteilung der digitalen Signalaufbereitung 11 (Digitales Signal Conditioning) in drei FPGAs 17, 18, 19 ist nicht zwingend. Die Logik kann auch komplett in eine FPGA integriert werden.

Die FPGAs 17, 19 zählen die Periodendauer und die Differenz der Nulldurchgänge der Sensorsignale aus. Außerdem wird der A/D-Wandler 15, 16 zur Bestimmung des Signal-Spitzenwertes ausgelesen.

Wenn ein neuer Datensatz für ein Rad vorhanden ist, wird ein Unterbrechungs-(Interrupt-)Signal an die digitale Signalverarbeitung 12 (DSP) gesendet, die daraufhin den Datensatz über die parallele Datenschnittstelle abholt.

Auf der DSP-Platine befinden sich neben dem Signalprozessor noch ein Flash ROM 21 zur Speicherung des DSP Programms im ausgeschalteten Zustand und ein SRAM 22 zur Speicherung von Daten und Programm während des Betriebs.

Alle digitalen Komponenten sind durch einen gemeinsamen Adreß- und Datenbus 26 verbunden.

Die Ausgabe der Kraftinformationen kann über die CAN-Schnittstelle 13 oder eine direkte Schnittstelle mit dem Hauptprozessor des Kfz-Regelungssystems 14 (ECU = Electronic Control Unit) oder mittels einer kompletten Integration verfolgt werden.

#### 2. Beschreibung der für die digitale Signalverarbeitung (DSP) aufbereiteten Datensätze

In den folgenden Fig. 4 bis 6 wird anhand beispielhafter Sensor-Signalverläufe gezeigt, welche Daten ermittelt und an die digitale Signalverarbeitung 12 (DSP) weitergegeben werden.

Zunächst wird nur auf die Standard-SWT-Konfiguration mit zwei SWT-Sensoren pro Rad eingegangen.

Der näher zur Radachse montierte Sensor wird im Folgenden "unterer Sensor" ( $S_L$ ), der weiter nach außen montierte Sensor "oberer Sensor" ( $S_U$ ) genannt.

Das Signal  $S_L$  des unteren Sensors wird als "Referenzsignal" verwendet; das heißt, daß die Nulldurchgänge dieses Signals als Start- und Stopbedingung für den Periodenzähler

17 dienen. Es wird nur die Periodendauer des unteren Sensors ermittelt. Es gibt zwei Periodenzähler 27, 28 bzw. 29, 30 (Fig. 8) (pro Rad): der eine startet und endet bei Nulldurchgängen mit positiver Flanke, der andere bei negativen Nulldurchgängen. Da sich die Zählperioden zeitlich überlappen, sind zwei getrennte Zähler notwendig.

Um die zeitliche Verschiebung der Nulldurchgänge der beiden Sensorsignale zu ermitteln, wird zum Zeitpunkt eines Nulldurchganges des oberen Sensorsignals der Zählerstand des Periodenzählers abgespeichert. Es wird also für den oberen Sensor  $S_U$  eine "Zeitmarke" (Time Stamp) als Bezug zum Periodenverlauf des unteren Sensors  $S_L$  gesetzt.

(Der DSP 12 berechnet dann aus dem Quotient von Periodendauer und Zeitmarke die geschwindigkeitsunabhängige Phasenverschiebung der beiden Signale.)

Weiterhin wird die Maximalamplitude  $A_{Lp}$ ,  $A_{Ln}$ ,  $A_{Up}$ ,  $A_{Un}$  jeder Halbwelle beider Sensorsignale ermittelt.

Die Ablaufsteuerung in den Zähler-FPGAs 17, 19 funktioniert wie folgt:

Sobald ein Nulldurchgang des unteren Sensorsignals erkannt wird, wird der Stand des Periodenzählers abgespeichert und dieser erneut gestartet. Die während der aktuellen Zählperiode angefallenen Zeitmarken und Amplitudenwerte werden in Ausgangsregister übernommen. (Siehe detaillierte Beschreibung der digitalen Signalverarbeitung (Digital Signal Conditioning) in Abschnitt 4.)

Fig. 4 zeigt den idealisierten Fall, daß während jeder Signalperiode des unteren Sensors  $S_L$  nur ein Nulldurchgang gleicher Polarität des oberen Sensors  $S_U$  auftritt.

Der zum Ende der mit einer positiven Flanke gezählten Periode vorliegende Datensatz besteht demnach aus der aktuellen Periodendauer  $T_{Lp}$  und der Amplitude  $A_{Ln}$  der letzten Halbwelle des unteren Sensors  $S_L$ , der Zeitmarke  $t_{Up}$  des Nulldurchganges des oberen Sensors  $S_U$  sowie der Amplitude  $A_{Un}$  der letzten Halbwelle vor Erreichen der Zeitmarke.

Die Zuordnung der Datensätze ist in Fig. 5 dargestellt. Dabei bezeichnen  $T_{Lp}$  = Periodendauer,  $A_{Ln}$  = Amplitude des unteren Sensors  $S_L$ ,  $t_{Up1}$  = erste Zeitmarke des oberen Sensors  $S_U$ ,  $A_{Un1}$  = Amplitude des unteren Sensors,  $t_{Up2}$  = zweite Zeitmarke. Die Indizes p und n zeigen, ob die Daten zum positiven oder negativen Zähler bzw. zur positiven oder negativen Amplitude gehören. Hier ist außerdem zu erkennen, daß der idealisierte Fall von immer gleichartigen Datensätzen, wie in Fig. 4 dargestellt, in der Praxis nicht gilt:

Durch Polteilungsfehler des Encoders kommt es vor, daß während einer Periode des unteren Sensors das Signal des oberen Sensors einen, zwei oder gar keinen Nulldurchgang in der gleichen Polarität wie die aktuell vermessene Periode hat.

Diese Fälle sind in Fig. 5 dargestellt; hierbei ist zu beachten, daß aus Gründen der Übersichtlichkeit nur die Daten der Messungen von positiver zu positiver Flanke gezeigt sind (in Wirklichkeit fällt die doppelte Datenmenge an).

Zu einem vergrößerten Datensatz kann es kommen, wenn die Periodendauer des oberen Sensorsignals größer als die des unteren ist und die Phasenverschiebung der beiden Signale relativ klein ist.

Da in diesem Fall die eigentlich zur nächsten Periode gehörige Zeitmarke und Amplitude "vorzeitig" ausgewertet wird, fallen in der nächsten betrachteten Periode keine Daten des oberen Sensors mehr an.

Es ist Aufgabe der digitalen Signalverarbeitung, des DSPs, diese "vorzeitig" gelieferten Daten der entsprechenden Periode zuzuordnen. Als Plausibilitätskontrolle wird hierbei die Tatsache genutzt, daß die Anzahl der Perioden beider Sensorsignale über eine Radumdrehung konstant (bei der vorliegenden Polteilung = 48) sein muß.

Zu jedem Datensatz gehören also für den unteren Sensor

die Periodendauer und genau ein Amplitudenwert; für den oberen Sensor können es keine, eine oder zwei Zeitmarken und die entsprechende Anzahl Amplitudenwerte sein.

Falls ein SWT-Sensor und ein herkömmlicher Radsensor verwendet werden, besteht der Datensatz aus der Periodendauer des Radsensors sowie null bis zwei Zeitmarken und der entsprechenden Anzahl von Amplitudenwerten des SWT-Sensors.

Die Phasenverschiebung der Signale im vorzugsweise längs- und querkraftfreien Zustand ist durch die Anordnung der Sensoren gegenüber dem Encodermuster gegeben. Der Betrag der Phasenverschiebung kann zwischen 0 und  $2\pi$  liegen; die elektronische Vorrichtung funktioniert mit beliebigen Ausgangswerten.

Selbst Ausgangswerte der Phasenverschiebung größer als eine Periode wären möglich, da die Signaländerung durch Verformung der Reifenseitenwand aufgrund von Längskräften bei dem hier gewählten Polmuster geringer als die Hälfte einer Periode ist.

Zur Steuerung der A/D-Wandler 15, 16 wird ebenso wie als Eingangssignal für die Zähler 27 bis 30 ein von der analogen Signalaufbereitung 10 (Analogelektronik) aus dem Sensorsignal erzeugtes Digitalsignal gleicher Phasenlage und Periodendauer benutzt ("Trigger Signal").

Fig. 6 zeigt den Ablauf der Bestimmung der Maximalamplitude für einen Sensorkanal.

Um die Auflösung des A/D-Wandlers 15, 16 optimal auszunutzen, wird das Sensorsignal verstärkt, gleichgerichtet und auf Masse bezogen.

Der A/D-Wandler 15, 16 tastet das Signal hinter dem Halbleitglied 36 wiederholt ab und schreibt den aktuellen Wert in ein Eingangsregister 42 im Haupt-FPGA 18.

Wenn ein Flankenwechsel des Trigger Signals erfolgt, stellt die Ablaufsteuerung in der digitalen Signalaufbereitung (Digitalen Signal Conditioning) fest, daß nun die Maximalamplitude des Signals verstrichen sein muß, weil ein aktuelles Minimum erkannt wurde.

In der Halteschaltung 23 und im Eingangsregister 42 ist jedoch noch der Maximalwert der vergangenen Halbperiode gespeichert.

Daher wird der letzte abgetastete Wert vom Eingangsregister 42 in das Ausgangsregister 43 verschoben, und die Halteschaltung 36 kann zur Messung der nächsten Halbperiode neu initialisiert werden.

### 3. Analoge Signalaufbereitung (Analoges Signal Conditioning)

Der SWT-Sensor wird über eine Zweidrahtschnittstelle an 12 V und an den Eingang der Elektronik angeschlossen. Die Strom-Spannungs-Wandlung wird hier beispielhaft über einen Arbeitswiderstand nach Masse durchgeführt (Fig. 7).

Ein Tiefpaßfilter 25 zur Eliminierung von Signalstörungen schließt sich an.

Die Analogelektronik arbeitet beispielsweise nur mit 5 V Spannungsversorgung; es sind jedoch noch andere Konzepte denkbar (pos. und neg. Versorgung).

Zur weiteren Signalverarbeitung wird das Eingangssignal zunächst auf 2.5 V als Referenzpegel 26 bezogen.

Nach einer vorteilhaften Ausbildung der analogen Signalaufbereitung wird dies durch eine analoge, kontinuierliche Nullpunktkorrektur erzielt. Dies kann zu Ungenauigkeiten in der Signalauswertung führen, falls sich der Signalloffset des SWT Sensors sprunghaft ändern würde. Eine weitere Ausführung der Vorrichtung sieht daher keine kontinuierliche Offsetkompensation vor, sondern beinhaltet eine vom DSP gesteuerte, diskrete Anpassung der Schaltung an unterschiedliche Eingangsoffsets. Die Schaltung ist dabei so aus-

gelegt, daß sie reagiert, bevor sich das verstärkte Eingangssignal aus dem Wertebereich entfernt. Vorteilhaft kann dies über einen vom DSP gesteuerten Digital/Analog-Wandler der Eingangsstufe erreicht werden.

Ein Komparator **24** erzeugt aus dem sinusförmigen Analogsignal ein Rechtecksignal mit 5 V CMOS Logikpegeln, das als Eingangssignal für die nachfolgende Digitalschaltung dient.

Dieser Komparator benötigt eine definierte Eingangshysterese, damit geringe Störungen und Rauschen nicht zu einer Fehltriggerung führen. Andererseits darf die Hysterese nicht zu groß sein, damit der Nulldurchgang von langsamen Signalen mit kleinen Amplituden noch hinreichend genau detektiert wird. Der in Fig. 7 gezeichnete zweite Komparator **32** ist dabei nicht zwingend notwendig; er kann dazu verwendet werden, um ein phasenrichtiges Digitalsignal zu erzeugen.

Im unteren Teil von Fig. 7 wird die analoge Signalaufbereitung für die Amplituden-Spitzenwert-Halteschaltung gezeigt. Zunächst wird die positive und negative Halbwelle in einem Signal Trennverstärker **33** getrennt verstärkt und auf 0 V bezogen, um die Auflösung des A/D-Wandlers **16** optimal auszunutzen. Die negative Halbwelle wird hierbei invertiert.

Ein vom Triggersignal gesteuerter Analogschalter **34** schaltet nun phasenrichtig entweder die positive oder die negative Halbwelle auf den Eingang des Spitzenwertermittlers **35** durch.

Der an dessen Ausgang angeschlossene Kondensator **36** speichert die Maximalspannung der momentanen Halbwelle. Um den Kondensator **36** so wenig wie möglich zu belasten, ist dem A/D-Wandler **16** ein Ausgangspuffer **37** vorgeschaltet.

Wenn die digitale Signalaufbereitungs **11** (Digitale Signal Conditioning)-Logik den Flankenwechsel des Triggersignals detektiert hat und somit feststellt, daß der Spitzenwert der Halbwelle die Schaltung passiert haben muß, wird der am Kondensator **36** gehaltene Spannungswert über einen zweiten Analogschalter **44** gelöscht.

Da auch der erste Analogschalter inzwischen umgesprungen ist, arbeitet die Schaltung sofort wieder an der Detektion der nächsten Halbwelle.

#### 4. Digitale Signalaufbereitung (Digitales Signal Conditioning)

Die beiden FPGAs **17**, **19** mit den Periodenzählern **27** bis **30** gemäß Fig. 8 sind identisch aufgebaut; allein die Belegung des Eingangspins WCF entscheidet, ob das Bauteil für die Vorderachse oder Hinterachse des Kraftfahrzeugs eingesetzt wird (unterschiedliche Konfiguration der Adressen).

Die Schaltung benötigt pro Rad zwei Eingangssignale: entweder zwei SWT-Sensorsignale ( $S_U$  und  $S_L$ ) oder einen SWT-Sensor ( $S_U$ ) und einen Radsensor (SW), dessen Signal schon digital vorliegt (Signalabgriff in dem Kfz.-Regelungssystem **14**).

Im Falle des Betriebs mit zwei SWT-Sensoren  $S_L$ ,  $S_U$  ist der untere Sensor  $S_L$  der Referenzsensor zur Steuerung des Periodenzählers, da davon ausgegangen wird, daß das näher an der Felge abgegriffene Sensorsignal weniger störungsbehaftet ist als das radäußere Signal (Eigenresonanzen im Gummi). Wenn nun aber ein SWT-Sensorsignal zugunsten des Radlagersensors wegfallen soll, dann muß dies der untere SWT-Sensor sein, da bei Wegfall des oberen (radäußeren) Sensors der erzielte Signalbereich zu gering wäre.

(Nur sehr geringe Verschiebung der Reifenseitenwand zwischen Felgenreand und radinnerem SWT-Sensor bei Einwirkung von Längskräften.)

In diesem Fall ist der Radlagersensor SW der Referenzsensor.

Die "Zähler und Register Kontroll Logik" **38**, **39** steuert das Rücksetzen und Inkrementieren der Periodenzähler anhand der Signalwechsel des Referenzsignals.

Bei jedem Signalwechsel des zweiten Eingangssignals wird der aktuelle Zählerstand in ein Zwischenregister **46** abgespeichert. Hierbei muß unterschieden werden, zu welchem der beiden Zähler die Zeitmarke zugehörig ist.

Wenn der zweite Signalwechsel des Referenzsignals eintrifft, wird der Phasenzähler der entsprechenden Polarität gestoppt, dessen Endwert ( $T_L$ ) in das Ausgangsregister **47** kopiert und die zugehörigen Zeitmarken des anderen Sensors ( $t_{U1}$ ,  $t_{U2}$ ) ebenfalls in die Ausgangsregister übernommen.

(Wie bei der Beschreibung von Fig. 5 ausgeführt, kann es sich um keine, eine oder zwei Zeitmarken handeln.)

Wenn die Daten in das Ausgangsregister übernommen wurden, löscht die Kontroll Logik **38**, **39** das Halteglied **35**, **36** des entsprechenden Sensorkanals durch Setzen des Signals CLR. Ein "Interrupt Request" wird an das Haupt-FPGA **18** (gemäß Fig. 9) gesendet, zum Zeichen, daß neue Daten zur Abholung bereitliegen.

Die drei temporären Register **46** für die Zeitmarken des zweiten Sensors werden aus folgenden Gründen benötigt: Zum einen können die Ausgangsregister nicht sofort vom DSP abgeholt werden, so daß eine sehr früh im der nächsten Periode auftretende Zeitmarke verloren ginge, könnte sie nicht zwischengespeichert werden.

Außerdem speichern beide Zähler **27**, **28** bzw. **29**, **30** (positiv-positiv und negativ-negativ) ihre zugehörigen Zeitmarken in die gleichen Register ab, so daß zu bestimmten Zeitpunkten eine Umspeicherung innerhalb der drei Register vorgenommen werden muß.

Natürlich könnte man für jeden Zähler dedizierte Register vorsehen; dies würde jedoch wegen der großen Bitbreite einen erheblichen Logikaufwand bedeuten.

Aus der gemeinsamen Verwendung der Ausgangsregister für Datensätze beider Signalfanken ergibt sich eine Geschwindigkeitsbedingung für den DSP:

Da sich die Räder des Fahrzeugs unabhängig voneinander bewegen, fallen die Datensätze für alle vier Räder völlig asynchron an; also im ungünstigsten Fall alle vier zur gleichen Zeit.

Nach einer halben Periode müssen die Daten in den Ausgangsregistern jedoch abgeholt sein, sonst werden sie von den neuen Daten überschrieben.

Daher muß der DSP die Datensätze aller vier Räder in 1/8 einer Periodendauer abholen und verarbeiten können, sonst könnten Daten verloren gehen.

Die gewünschte Maximalgeschwindigkeit, bei der das System betrieben werden soll, setzt hierbei die obere Grenze für die erlaubte Rechenzeit im DSP.

Bei sehr niedrigen Radgeschwindigkeiten (kleiner 0.5 km/h) kann der Periodenzähler **27**, **28**, **29**, **30** die Periodendauer nicht mehr zu Ende zählen. Ab einem bestimmten Zählerwert wird ein Überlaufbit gesetzt und der Zähler neu gestartet. Es wird ebenfalls ein "Interrupt Request" gesendet.

Das Statusflag TCOF macht eine Unterscheidung möglich, ob der Interrupt durch einen Überlauf des Zählers oder durch einen wirklichen Signalwechsel ausgelöst wurde. Liegt ein Überlauf vor (oder mehrere hintereinander), so kann der DSP die Zeiten bis zum nächsten wirklichen Signalwechsel aufsummieren. Hierdurch wird dem DSP ermöglicht, trotz Stillstand und Wiederanfahren des Fahrzeugs die neuen Polmuster den alten Werten noch eindeutig zuzuordnen.

Dies ist zur Fehlerkorrektur des Encoder-Polmusters sinnvoll.

Es werden pro Rad drei Statussignale bereitgestellt:  
 PED (pos. edge data): Zuordnung der Daten: aus Messung von pos. zu pos. oder von neg. zu neg. Flanke  
 TCOF (T counter overflow): Überlauf des Periodenzählers  
 EF (error flag): es wurden mehr als zwei  $S_U$ -Flanken während einer halben  $S_L$ -Periode detektiert (Fehlerfall; nur durch Störungen möglich)

#### 5. Hauptlogik (Haupt-FPGA)

Fig. 9 zeigt das Haupt-FPGA 18, das für die Verwaltung der "Unterbrechungs-Anforderungen" (Interrupt Requests) der Zähler-FPGAs 17, 19 und für das Auslesen und Speichern der A/D-Wandler 15, 16 Daten zuständig ist.

Die  $2 \times 4$  Kanäle der A/D-Wandler werden kontinuierlich reihum ausgelesen und in die Eingangsregister 42 geschrieben. Wie bei der Erklärung zu Fig. 6 schon angedeutet, muß bei Flankenwechsel des oberen Sensors der letzte gespeicherte Amplitudenwert aus dem Eingangsregister 42 in ein Ausgangsregister 43 übernommen werden.

Diese Vorgangsweise ist möglich, wenn das Eingangsregister auch während  $\frac{1}{4}$  der minimal erlaubten Signalperiode mindestens einmal neu beschrieben wird (damit ist sichergestellt, daß der letzte Abtastwert auf jeden Fall zeitlich hinter dem Spitzenwert des Sinussignals liegt).

Die Ansteuerung der A/D-Wandler ist entsprechend einzustellen.

Da jedoch zu jeder Zeitmarke des oberen Sensors auch ein Amplitudenwert gehört, müssen diese Amplitudenwerte analog zu den Zeitmarken vorläufig in eines von drei Zwischenregistern abgespeichert werden.

Die Steuersignale für die Amplitudenregister 42, 45, 43 werden von den Zähler-FPGAs geliefert, da dort die entsprechende Verwaltungslogik für die Zeitmarken schon vorhanden ist.

Bei Ablauf der Periode des unteren Sensors werden wie in den Zähler-FPGAs nun die Amplitudenwerte in die Ausgangsregister übernommen.

Die eingehenden Interrupt-Anfragen der Zähler-FPGAs werden in einer Warteschleife 40 verwaltet. Sobald ein Interrupt Request eintrifft, wird das Interrupt-Signal IR an den DSP aktiviert, falls nicht gerade noch Daten des vorherigen Interrupts abgeholt werden.

In diesem Falle wird die Interrupt-Anfrage gespeichert, bis der vorherige Vorgang beendet ist. So wird vermieden, daß bei gleichzeitig anfallenden Datensätzen mehrerer Räder nur ein IR-Signal ausgelöst wird.

Zur Information über die abzuholenden Datenpakete und den Status der Signalvorverarbeitung gibt es ein Identifikationsregister 41 IDENT, das vom DSP über den Datenbus ausgelesen werden kann.

Dieses Register enthält folgende Statussignale:  
 WDD[1:0] (wheel data designator): zeigt an, von welchem der vier Räder ein neues Datenpaket vorliegt  
 WDL (wheel data lost): ein nicht abgeholter Datensatz dieses Rades wurde durch neue Werte überschrieben (Fehlerfall; sollte eigentlich nicht vorkommen)  
 NDA (no data available): es liegen keine neuen Daten vor  
 PED (pos. edge data): Zuordnung der Daten: aus Messung von pos. zu pos. oder von neg. zu neg. Flanke  
 TCOF (T counter overflow): Überlauf des Periodenzählers  
 EF (error flag): es wurden mehr als zwei  $S_U$ -Flanken während einer halben  $S_L$ -Periode detektiert (Fehlerfall; nur durch Störungen möglich)

#### 6. Ablauf des Datentransfers zum DSP

Sobald das Haupt-FPGA ein Interrupt (IR)-Signal zum DSP 12 schickt, liest dieser zunächst das Identifikationsregister 41 IDENT aus.

Die Statussignale WDD[1:0] zeigen an, um welches der vier Räder es sich handelt. Danach liest der DSP nur die Adressen aus, die zu diesem Rad zugehörig sind.

(Periodendauer (47) und Zeitmarken (47) aus den Zähler-FPGAs 17, 19, Amplitudenwerte (43) aus dem Haupt-FPGA 18.)

Sind alle Daten abgeholt, dann wird erneut die Adresse für das IDENT-Register angelegt, um den erfolgten Datentransfer zu quittieren.

Die Interruptverwaltung im Haupt-FPGA erkennt die IDENT-Adresse und schaltet die gelesenen Register für die nächsten zu übernehmenden Werte frei.

(Die hierzu nötigen Steuersignale DSP\_EN[3:0] sind aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht in den Fig. 7 bis 9 eingezeichnet.)

Wenn bereits ein weiterer Interrupt in der Warteschleife steht, wird nun das IDENT Register mit den neuen Werten belegt und das nächste IR-Signal gesendet.

Andernfalls bleibt das System in Wartestellung, bis von einem der Zähler-FPGAs eine neue Interrupt-Anfrage vorliegt.

Falls im IDENT-Register das Bit WDL gesetzt ist, heißt dies, daß zwischen dem letztmaligen und dem jetzigen Lesen des durch WDD identifizierten Rades ein Datensatz desselben Rades verloren wurde.

Das bedeutet, daß beim Abspeichern eines Polmusters des Encoders eine Speicherstelle übersprungen werden muß.

Eine Erweiterung des WDL-Bits, die auch bei mehreren verlorenen Datensätzen deren korrekte Anzahl wiedergeben würde ist denkbar, aber in der hier vorgestellten Schaltung nicht realisiert.

Das WDL-Bit kann durch zwei unterschiedliche Vorgänge gesetzt werden, die jedoch nach außen hin die gleiche Auswirkung haben: Entweder wurde ein Datensatz nicht in die Ausgangsregister übernommen, weil diese gerade gelesen und deswegen durch DSP\_EN blockiert wurden; oder bereits in der Interrupt-Warteschlange stehende Informationen wurden durch ein Überschreiben der Ausgangsregister mit nachfolgenden Daten ersetzt.

In beiden Fällen führt die ursprüngliche Interrupt-Anforderung des Zähler-FPGAs nicht zu einem IR an den DSP. Erst die nachfolgende Interrupt-Anforderung dieses Rades wird wieder zum DSP gesendet; hierbei ist dann im IDENT-Register das WDL-Bit gesetzt.

Wenn keine Daten in einem Register 43, 47 vorliegen (z. B. im üblichen Fall, wenn nur eine Zeitmarke für  $S_U$  während der Signalperiode von  $S_L$  auftrat), dann ist jedes Bit des nicht benutzten Registers mit dem Wert '1' belegt.

Dieser Registerinhalt ist im normalen Betrieb als Zahlenwert nicht erlaubt und wird als Fehler erkannt.

Weitere vorteilhafte Ausführungsbeispiele nach der Erfindung sehen

- die Berechnung der Fläche des Signals über der Nulllinie als Maß für die Querkraft (Abtastung der Kurvenform, Integration) oder
- die Mittelwertbildung (Gleichrichtung) des Signals als Maß für die Querkraft

vor.

Darüber hinaus kann bei der Vorrichtung

- eine Ankopplung der Sensoren über einen vom DSP kontrollierten stufenweisen Ausgleich, d. h. ohne automatischen Ausgleich des Signaloffsets, und/oder
- eine vom DSP kontrollierte einstellbare Verstärkung zur Optimierung der Amplitudenmessung

vorteilhaft erfolgen.

#### Patentansprüche

1. Vorrichtung mit mindestens zwei Sensoren, insbesondere Reifen-Seitenwandtorsions (SWT)-Sensoren, für ein Kfz-Regelungssystem, die in unterschiedlichem Abstand zur Reifenrotationsachse stationär am Chassis bzw. der Radaufhängung angebracht und die mit mindestens einem auf oder in der Reifenwandung angebrachten oder mit mindestens einem auf oder in der Reifenwandung angebrachten und einem herkömmlichen, Pole aufweisenden Encoder zusammenwirken und die Ausgangssignale oder Ausgangsinformationen der Sensoren nach einer Auswertung dem Kfz-Regelungssystem zugeführt werden, **dadurch gekennzeichnet**, daß zwischen dem Kfz-Regelungssystem und den Sensoren mindestens eine analoge und eine digitale Signalaufbereitung und/oder -verarbeitung vorgesehen ist.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Sensoren mindestens zwei, bzgl. einer Änderung der Phasenlage und mindestens ein, bzgl. der Änderung der Amplitude bewertbare Ausgangssignale als im wesentlichen sinusförmige Wechselstromsignale der analogen Signalaufbereitung und/oder -verarbeitung zur Verfügung stellen.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der analogen Signalaufbereitung und/oder -verarbeitung mindestens ein Analog-Digitalwandler zum Ermitteln der Amplitude zugeordnet ist.
4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, gekennzeichnet durch eine analoge Signalaufbereitung mit einem Wandler, der das sinusförmige Wechselstromsignal in eine Spannung überführt, einem Filter, der Signalstörungen unterdrückt einer Offsetkompensationseinheit, der die Signalaufbereitung und/oder -verarbeitung an Veränderungen des Signaloffsets des Sensors anpaßt, einer Triggerschaltung, die das sinusförmige (Analog)Signal in ein Rechtecksignal wandelt und einer Amplitudenermittlung, die den Spitzenwert jeder Halbwelle erfaßt.
5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, gekennzeichnet durch eine Amplitudenermittlung mit einem Trennverstärker, der die positive und negative Halbwelle getrennt verstärkt einem Invertierer, der die negative Halbwelle umkehrt einem von dem am Ausgang der Triggerschaltung anstehenden Signal getriggerten Schalter, der phasenrichtig die positive oder negative Halbwelle auf den Eingang eines Amplitudenwertdetektors schaltet einem Register, das den Wert der Amplitude festhält und einem von der digitalen Signalaufbereitung und/oder -verarbeitung kontrollierten Schaltung zum Löschen des Registers.
6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die digitale Signalaufbereitung mindestens eine Logik mit mindestens zwei Periodenzählern aufweist, wobei jeweils bei Nulldurchgängen mit positiver oder negativer Flanke der Signale des

näher zur Rotationsachse angeordneten ersten Sensors Ablaufsteuerungen die Zähler starten oder stoppen und bei Nulldurchgängen der Signale des weiter von der Rotationsachse entfernten zweiten Sensors der zu diesem Zeitpunkt aktuelle Zählerstand als eine Zeitmarke in Registern gespeichert wird.

7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß den Zählern mindestens ein Register zugeordnet ist und in dem Register der Stand des Periodenzählers bei jedem Nulldurchgang abgelegt wird und dieser dann erneut gestartet wird.

8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Logik eine Unterbrechungsverwaltung (INTERRUPT QUEUE HANDLING) aufweist, die die Reihenfolge der an die digitale Signalverarbeitung weiterzuleitenden Zählerdaten festlegt und die eine Unterbrechungsanforderung an die digitale Signalverarbeitung sendet.

9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß in der Signalaufbereitung ein Register (IDENT) vorgesehen ist, in dem Statussignale beispielsweise zum Identifizieren der Reifen bzw. Räder der in Registern abgelegten Zählerdaten abgelegt sind.

10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß von der digitalen Signalverarbeitung auf die Unterbrechungsanforderung hin das Register (IDENT) gelesen wird, daraufhin die Register mit den Zeit- und Amplitudenwerten gelesen werden und aus diesen Daten die Phasenverschiebung ermittelt und die Phasenverschiebungen und Amplituden über einen Vergleich mit Referenzwerten bewertet werden.

11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß aus der Phasenverschiebung, der Amplitude und der Amplitudenveränderung die Längs- und/oder Querkkräfte des Reifens berechnet werden.

---

Hierzu 9 Seite(n) Zeichnungen

---



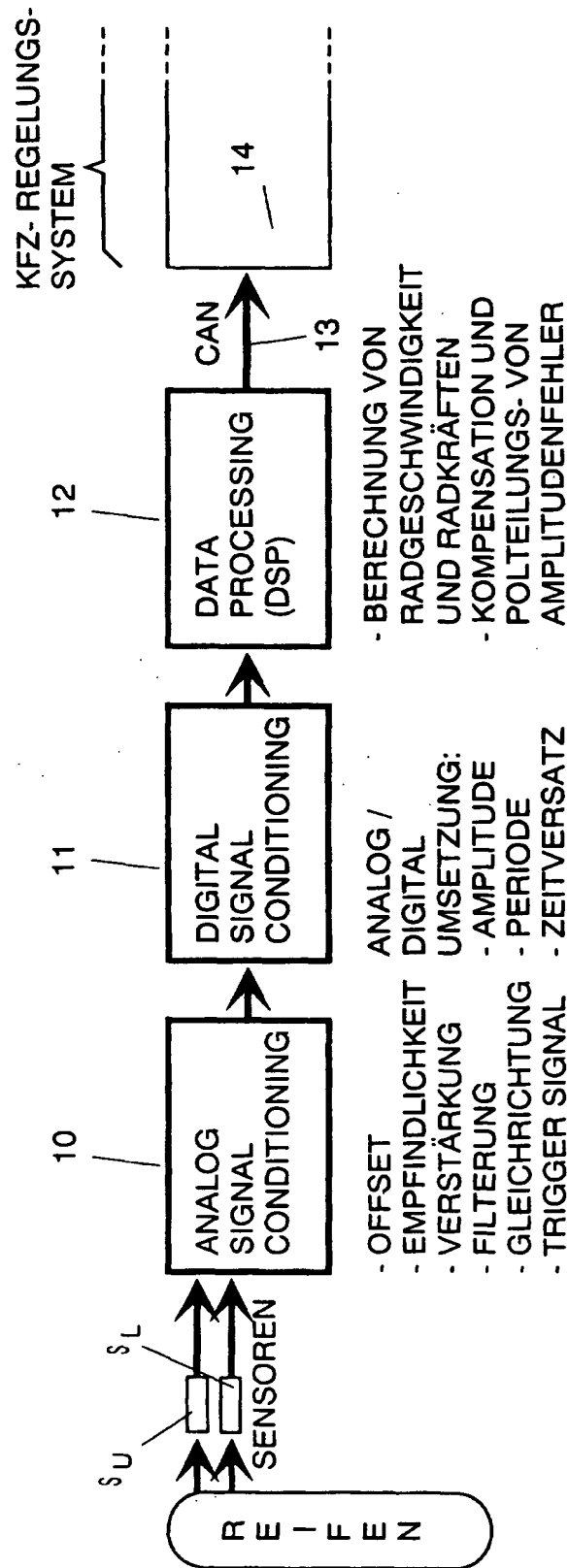


Fig. 1

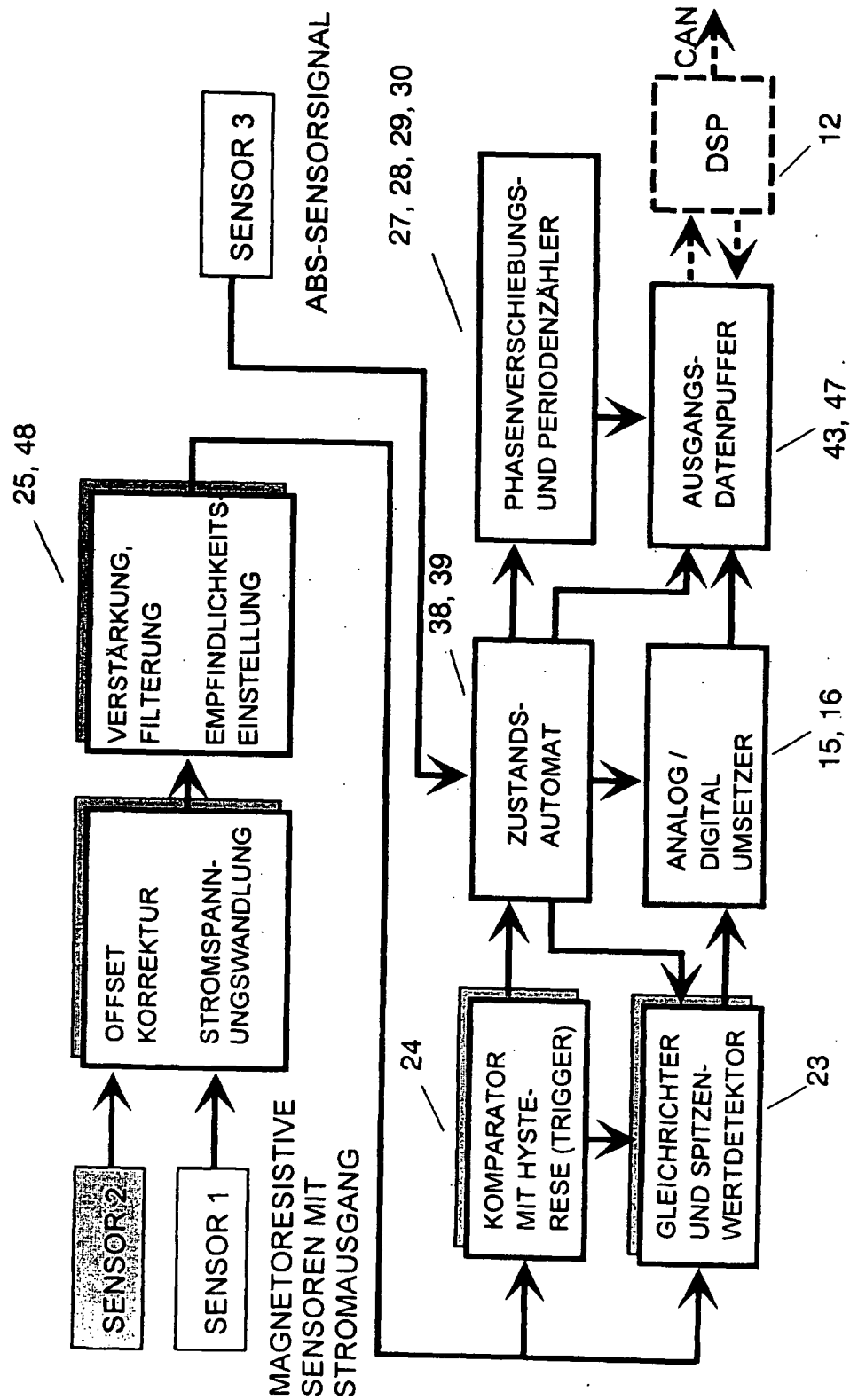


Fig. 2

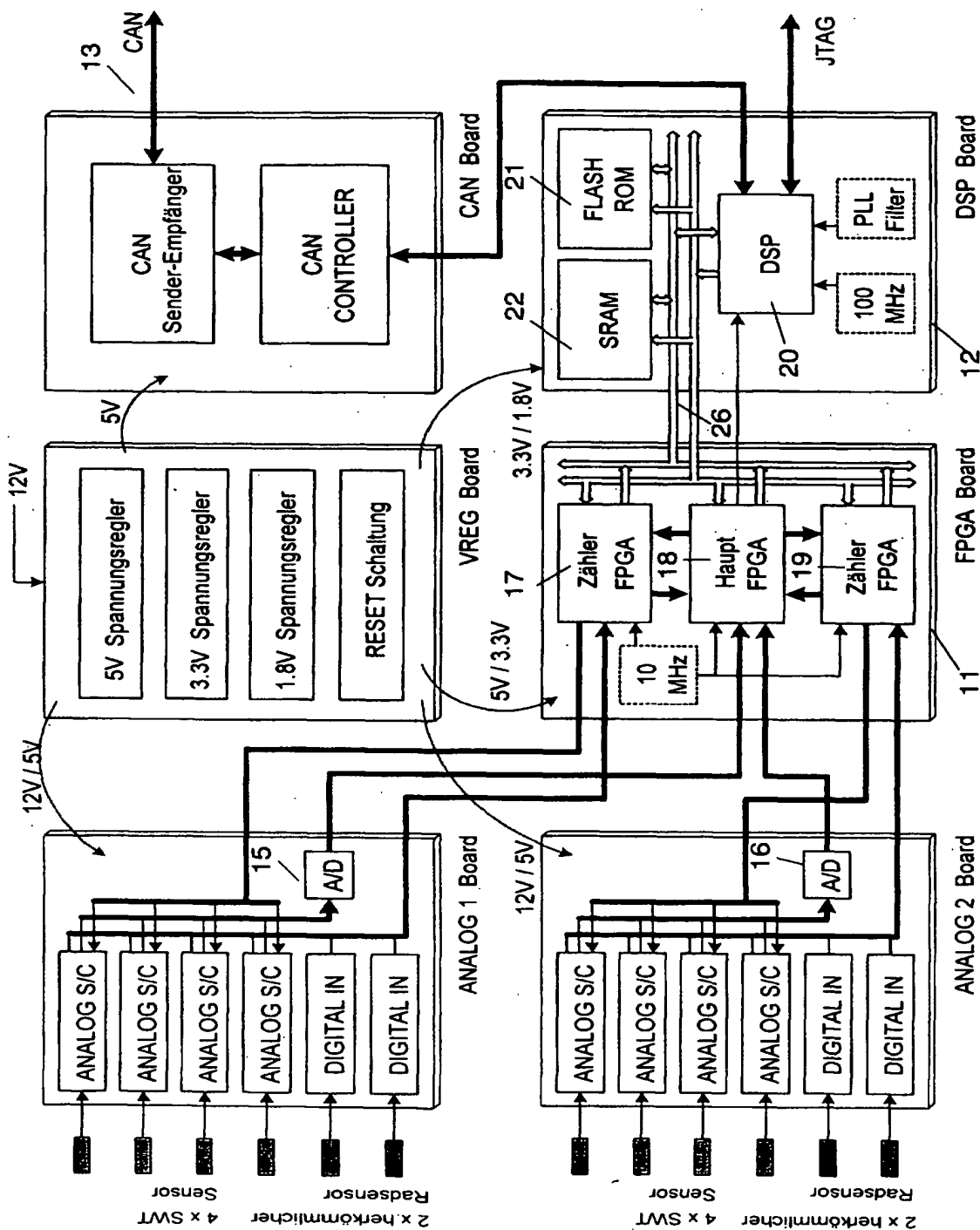
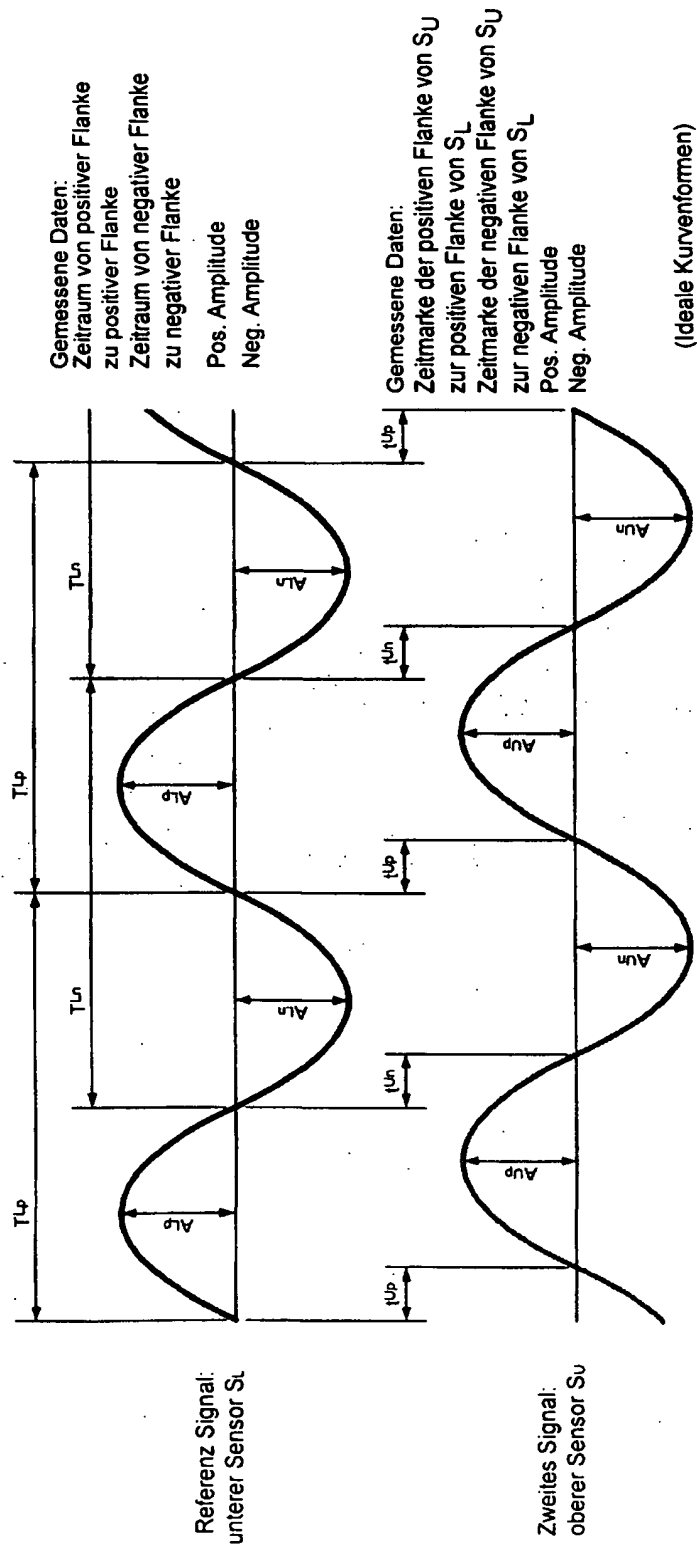


Fig. 3



Jeder Satz an Meßdaten zur positiven Flanke muß durch den DSP verarbeitet werden, bevor der nächste Satz an Meßdaten zur negativen Flanke vorliegt und umgekehrt.

Fig. 4

Abhängig von der Größe der Phasenverschiebung und der Polteilungsfehler, wird einer aus drei möglichen Datensätzen per Halbperiode aus den Sensorsignalen gewonnen:  
(Merke: nur die Meßdaten zur positiven Flanke sind aus Übersichtsgründen gezeigt.)

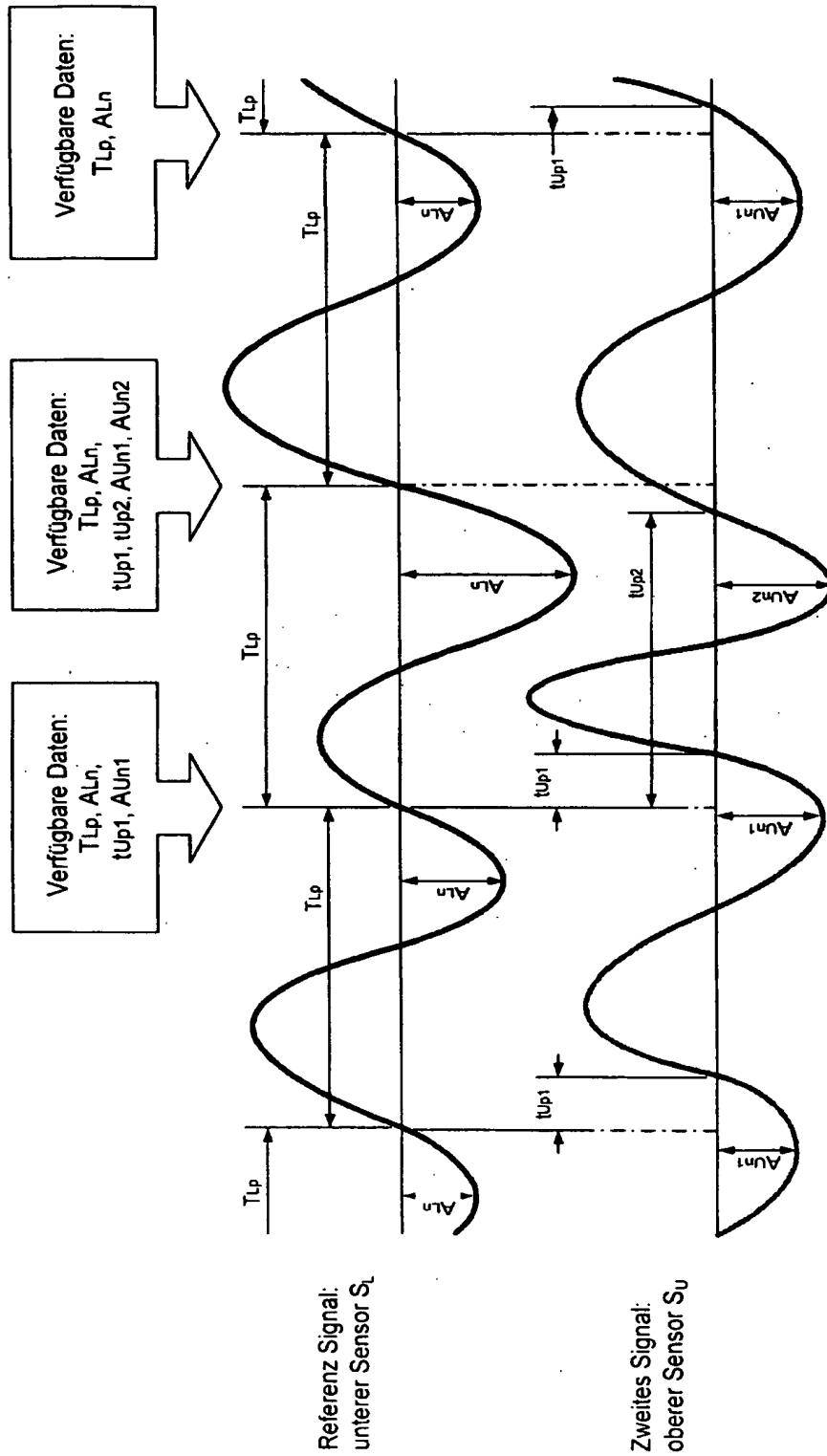


Fig. 5

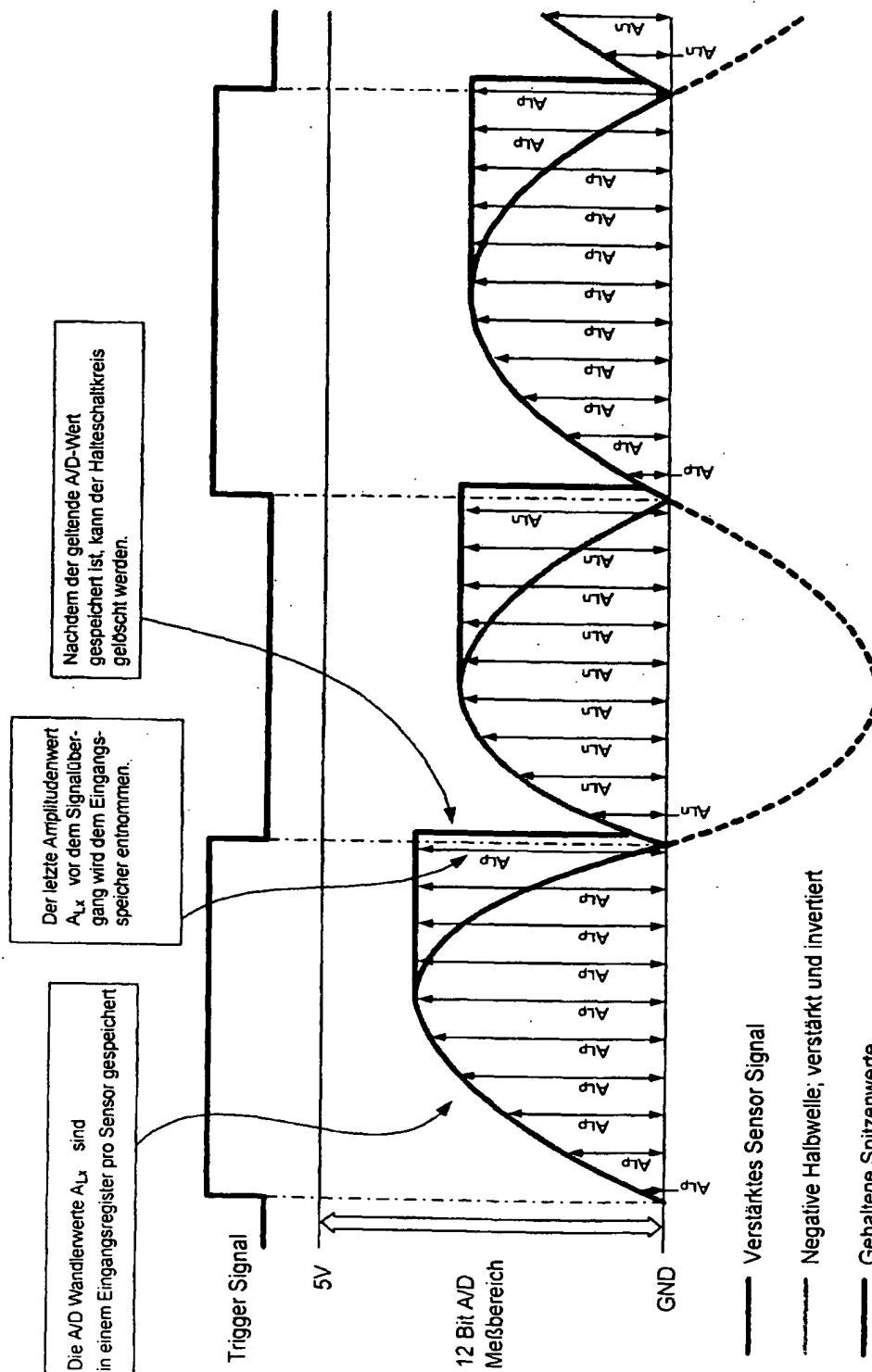


Fig. 6

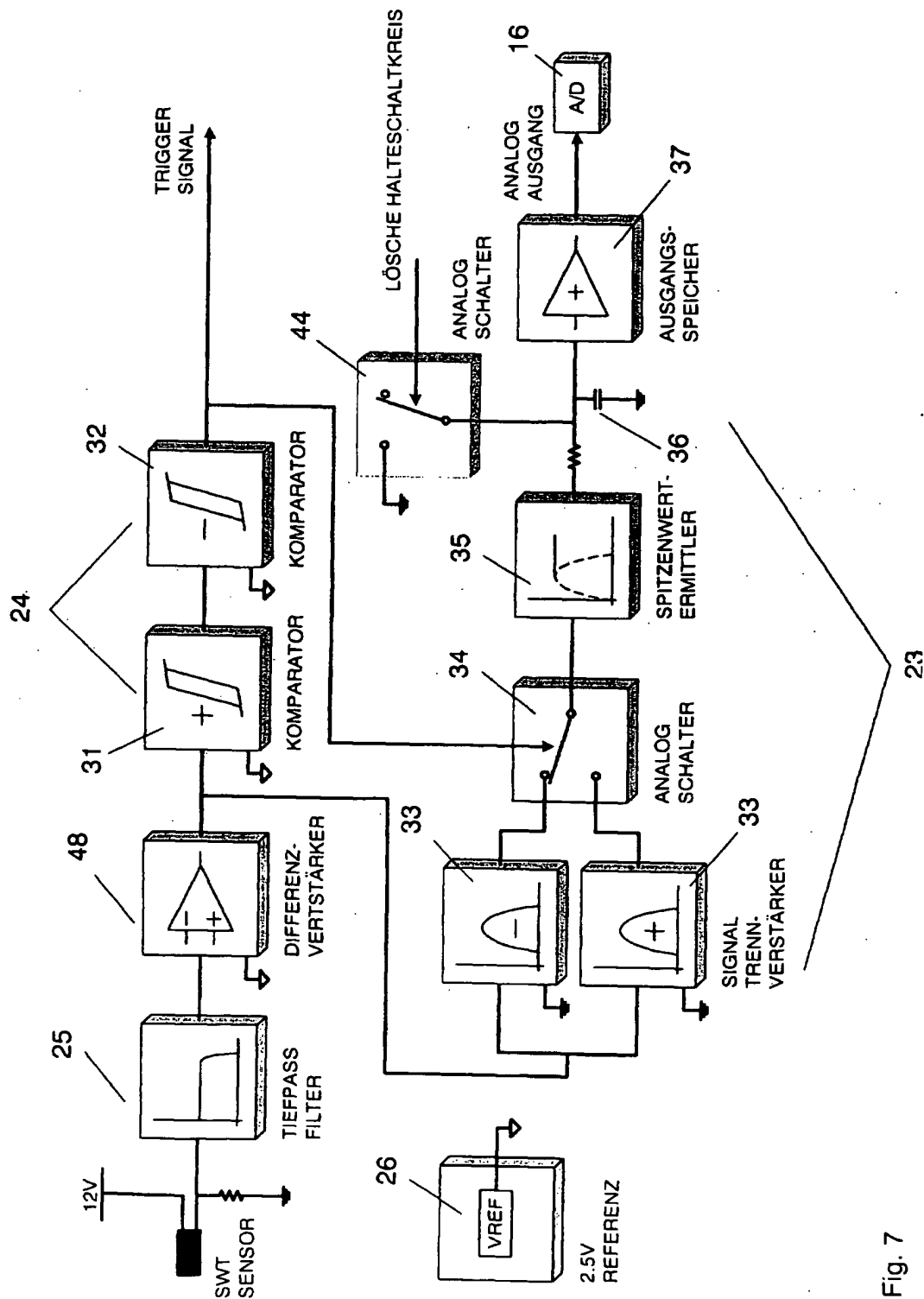


Fig. 7

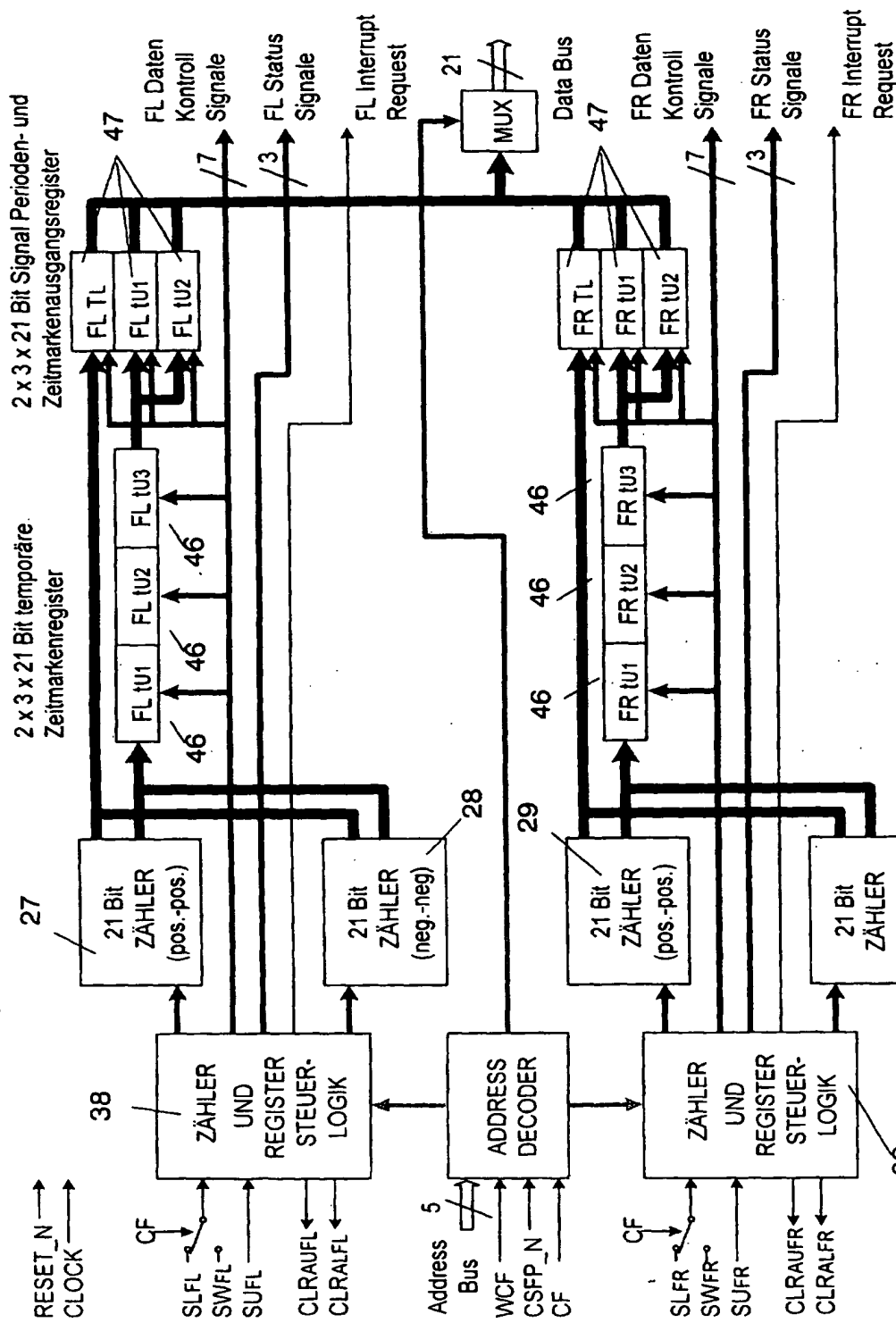


Fig. 8



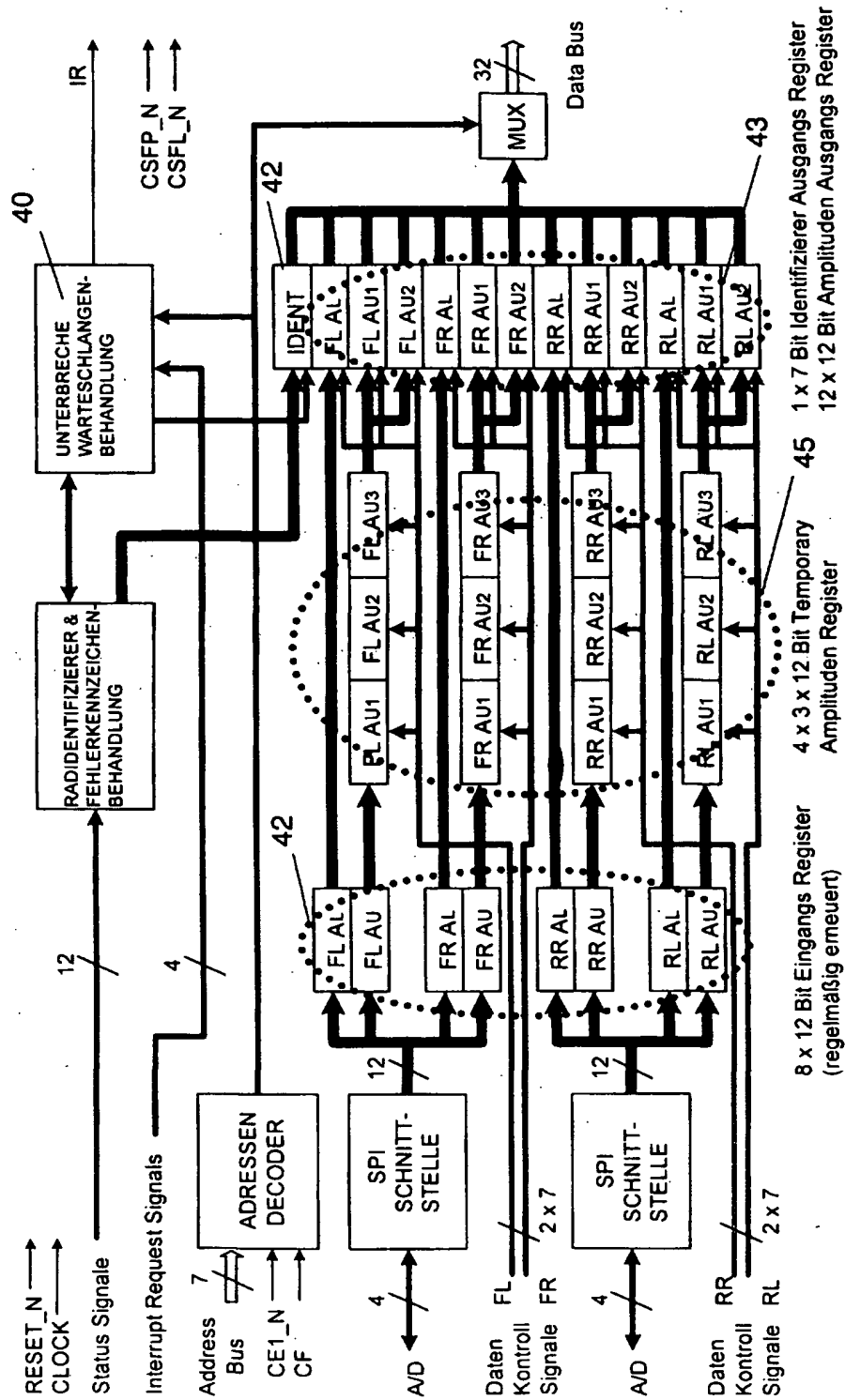


Fig. 9